

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 195 04 126 A 1

⑯ Int. Cl. 6:  
G 01 B 11/02  
G 01 B 11/24  
G 01 B 21/02  
G 01 J 1/42  
G 12 B 5/00  
// B23Q 17/20

⑯ Anmelder:  
Intecu Gesellschaft für Innovation, Technologie und  
Umwelt mbH, 07549 Gera, DE  
⑯ Vertreter:  
Meissner, Bothe & Partner, 80538 München

⑯ Erfinder:  
Just, Gerhard, Dr.rer.nat., 07549 Gera, DE;  
Nauschütz, Karl-Heinz, 07549 Gera, DE; Posern,  
Heinrich, 08373 Remse, DE; Grunert, Frank, 07552  
Gera, DE; Blochinger, Jens, 07552 Gera, DE

⑯ Vorrichtung und Verfahren zum berührungslosen Vermessen dreidimensionaler Objekte auf der Basis  
optischer Triangulation

⑯ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung  
zum berührungslosen Vermessen dreidimensionaler Objekte  
auf der Basis der optischen Triangulation. Erfindungsgemäß  
sendet eine Strahlungsquelle gebündelte Strahlung auf die  
Oberfläche des zu vermessenden Objektes. Diese Strahlung  
wird streuend reflektiert und die Remission mittels Strah-  
lungsdetektoren erfaßt. Durch entsprechende Antriebsvor-  
richtungen wird nahezu die gesamte Oberfläche des zu  
vermessenden Objektes kontinuierlich abgetastet. Neben  
einer Drehung des Objektes mittels eines Drehtisches  
erfolgt eine Bewegung in vertikaler bzw. z-Richtung eines  
Abtastkopfes, welcher im wesentlichen die Strahlungsquelle  
und die Strahlungsdetektoren sowie zugeordnete Optiken  
enthält. Um Hinterschneidungen, Sacklochbildungen oder  
andere, schlecht erkennbare Oberflächenabschnitte des  
Objektes scannen zu können, besitzt der Abtastkopf Mittel  
zum Verschwenken, Kippen und/oder Drehen, wodurch  
unterschiedliche Abtast- bzw. Blickwinkel mit geringem  
mechanischem Aufwand realisiert werden können und die  
Abtastgenauigkeit bzw. die Auflösung der Meßvorrichtung  
verbessert wird.

DE 195 04 126 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 06. 96 602 033/85

12/28

DE 195 04 126 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum berührungslosen Vermessen dreidimensionaler Objekte auf der Basis optischer Triangulation gemäß dem Oberbegriff der Patentansprüche 1 bzw. 9.

Verfahren zum berührungslosen Vermessen der Außenkonturen von dreidimensionalen Objekten mittels elektromagnetischer Strahlung auf der Basis optischer Triangulation sind bekannt. Hierbei befindet sich das Objekt auf einem Drehteller und wird mittels einer Abtasteinheit, die relativ zum Drehteller in x- und z-Richtung bewegbar ist und eine Strahlungsquelle sowie Strahlungsdetektoren enthält, abgetastet. Bei derartigen Vorrichtungen wir der von der Abtasteinrichtung ausgehende und am Objekt remittierte Meßstrahl hinsichtlich des Auftreffpunktes auf einen in der Abtasteinrichtung angeordneten Sensor untersucht, wobei das Sensorausgangssignal mit einer Auswerteeinheit rechnergestützt weiterverarbeitet wird, um entsprechende Informationen über die Objektoberflächenentfernung, x-, y- und z-Lage der Abtasteinheit und der Drehlage des Drehtellers zu erfassen, um daraus wiederum dreidimensionale, digitale Daten zur Verfügung zu stellen.

Derartige Daten werden dann abgespeichert, um in 3D-Bildbearbeitungssystemen, z. B. zur Steuerung einer numerischen Werkzeugmaschine zur Verfügung zu stehen.

Die Vermessung dreidimensionaler Objekte mittels optoelektronischer Sensorik und auf der Basis der Triangulation ermöglicht eine genaue Datenerfassung, welche schneller möglich ist, als dies mit mechanischen Abtastvorrichtungen realisiert werden kann.

Bei der aus der DE 39 10 855 C2 vorbekannten Vorrichtung zum Vermessen dreidimensionaler Objekte soll der konstruktive Aufwand, insbesondere zur Bewegung der Abtasteinheit in X- und Z-Richtung vereinfacht werden. Gemäß der dortigen Lösung wird ein handelsüblicher EDV-Plotter als X- und Z-Schlitten für die Abtasteinheit verwendet, welcher auf einem L-förmigen Grundgestell montiert ist. Der waagerechte Schenkel des L-förmigen Grundgestells dient der Befestigung des Drehtellers, wobei der vorerwähnte EDV-Plotter auf dem senkrechten Schenkel des Grundgestells angeordnet ist.

Ein Problem ergibt sich dann, wenn mit der dort gezeigten Vorrichtung Objekte vermessen werden sollen, die Hinterschneidungen oder verdeckte Stellen aufweisen. In diesem Falle muß nämlich die Meßeinheit zusätzlich in Y-Richtung verfahrbar sein. Eine derartige, in zwei Ebenen senkrecht zueinanderstehende Verfahrbarkeit erhöht jedoch zum einen den mechanisch konstruktiven Aufwand und führt zum anderen zu einer Instabilität und mechanischen Schwingungen der gesamten Meßeinheit. Darüberhinaus ist es außerordentlich schwierig, in zwei Ebenen möglichst schnell mit hoher Dynamik Lageänderungen vorzunehmen, wobei zu bedenken ist, daß Ungenauigkeiten in der Positionierung der Abtasteinheit mit den Sensoren bzw. der Strahlungsquelle eine erhebliche Verschlechterung der Meßgenauigkeit nach sich ziehen.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum berührungslosen Vermessen dreidimensionaler Objekte auf der Basis optischer Triangulation anzugeben, welche es gestatten, ein Objekt mit hoher Präzision auch dann zu vermessen, wenn dieses Objekt Hinterschneidungen, verdeckte Stellen, Sacklöcher oder ähnliches aufweist.

Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt mit einem Gegenstand nach den Merkmalen der Patentansprüche 1 und 9, wobei die Unteransprüche mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen umfassen.

Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, einen Abtastkopf auszubilden, welcher in vertikaler, d. h. in z-Richtung linear bewegbar ist und der weiterhin eine Antriebseinheit aufweist, welche ein vorgegebenes Verschwenken, Kippen und/oder Drehen des Abtastkopfes an einer jeweils vorgegebenen z-Position, d. h. an einem Fixpunkt ermöglicht.

Gemäß einem weiteren Gedanken der Erfindung erfolgt die Bewegung des Drehtisches, welcher der Aufnahme des zu vermessenden Objektes dient, quasi-kontinuierlich, wodurch unerwünschte Schwingungen des Objektes oder der gesamten Vorrichtung mit dem Nachteil geringer Meßgenauigkeit, wie dies bei schritweisem Drehantrieb gegeben ist, vermieden werden.

Das dreidimensionale Vermessen erfolgt dann dadurch, daß das auf dem Drehteller bzw. Drehtisch befindliche Objekt auf einer ringähnlichen Umfangslinie, in nicht unbedingt fortschreitender Reihenfolge, punktweise abgetastet wird. Nach jeder Umdrehung des Drehtisches wird der Abtastkopf in z-Richtung um einen vorgegebenen Schritt weitertransportiert. Anschließend erfolgt das Abtasten eines nächsten Ringes und die entsprechende Datenübertragung. Die vorstehende Verfahrensweise wird so lange wiederholt, bis das gesamte Objekt umfangmäßig abgetastet ist. Die an eine nachgeordnete Datenverarbeitungseinrichtung übertragenen Informationen beschreiben demnach Punkte auf der Oberfläche des Objekts als X-, Y-, Z-Koordinaten.

Die vorstehend beschriebene Abtastung wird mindestens in einer vorgegebenen Winkelstellung des Abtastkopfes durchgeführt. Es hat sich herausgestellt, daß bei sehr ungleichmäßigen Objekten eine Mehrfachabtastung, quasi zur Bildung einer Abtastpunktewolke, in unterschiedlichen Winkelstellungen zweckmäßig ist. Mit Hilfe dieser Mehrfachabtastung wird ein spezielles Abtastfenster gebildet, wobei die in diesem Fenster erhaltene Vielzahl von Informationen in der Datenverarbeitungseinheit zu einer eindeutigen Aussage über die Konfiguration bzw. Oberflächengestaltung des Objektes eben an dieser Stelle zusammengefügt wird.

Durch die Möglichkeit des Schwenkens der Blickrichtung des Abtastkopfes um die Vertikalachse um einen bestimmten vorwählbaren Winkel können unterschiedliche Blickrichtungen auf das Objekt eingestellt werden. Hierdurch können in vorteilhafter Weise verdeckte Oberflächenteile durch Messungen mit Hintergriff erkannt werden. Damit können ansonsten nicht einsehbare Flächenstücke des Objektes, besonders bei mehrfach zusammenhängenden Oberflächen, also z. B. Oberflächen mit Durchgangslöchern, ausreichend genau abgesucht werden. Durch eine Einstellung der Blickrichtung des Abtastkopfes durch Kippen desselben um im wesentlichen 90° um die Rollachse der Beobachtungsrichtung und Schwenken der Meßkopfblickrichtung in der Neigungsachse um einen vorwählbaren Winkel können schlecht vermeßbare Oberflächenstücke des Objektes, wie z. B. achsennahe oder weitgehend horizontale bzw. waagerechte Oberflächenbereiche erfaßt werden.

Durch mehrfach vorhandene Empfängerbaugruppen, d. h. Strahlungsdetektoren und entsprechende Optiken, kann eine höhere Signalwahrheit erreicht werden. Dies dient damit der Verbesserung der Signalsicherheit bei

Remissionsproblemen durch entsprechende logische Prüfalgorithmen. Letztendlich wird durch die horizontale Ortsgenauigkeit durch geometrisches Ausschalten des Symmetriefehlers verbessert sowie der Absolutfehler verringert.

Ein weiterer, wesentlicher Grundgedanke der Erfindung besteht darin, eine dynamische Regelung der Lichtleistung der verwendeten Strahlungsquelle, z. B. einer Laserdiode, vorzunehmen, wodurch die Deutungswahrscheinlichkeit des remittierten Lichtsignals auf den Strahlungsdetektoren und damit die Meßgenauigkeit erhöht werden kann. Durch eine einfache, steuerbare Verlängerung der Integrationszeit der als Strahlungsdetektoren verwendeten CCD-Zeilen oder Erhöhung der Laserlichtintensität können auch weit entfernte, winkel-mäßig sehr ungünstige und/oder schwach reflektierende Objekte sicher vermessen werden.

Die Gewinnung der Tiefeninformation aus dem erhaltenen Gesamtignal des CCD-Zeilensignals erfolgt einmal durch Messen beider Signalpeakflanken und arithmetischer Mittelung oder andererseits mit einer Entfaltung bzw. Teilentfaltung, z. B. durch entsprechende analoge Signalverarbeitung, bei welcher zunächst hohe Frequenzen aus gefiltert werden, differenziert, geglättet, nochmals differenziert und dann von der geglätteten Ursprungsfunktion die gewichtete zweite Ableitung subtrahiert wird. Alternativ kann eine digitale Entfaltung oder Defuzzyfizierung erfolgen.

Das erfundungsgemäße Verfahren und die zugehörige Vorrichtung sollen nunmehr anhand eines Ausführungsbeispieles und von Figuren näher erläutert werden.

Hierbei zeigen:

Fig. 1a, b prinzipielle Darstellungen des optischen Triangulationsverfahrens mit dem Ziel der Verdeutlichung des Wirkungsprinzips des Abtastkopfes und

Fig. 2 den prinzipiellen Aufbau der Vorrichtung mit den angedeuteten Möglichkeiten des Verschwenkens und Kippens des Abtastkopfes.

Mit den Fig. 1a, b sollen zunächst die Meßgeometrie des Abtastkopfes und die damit realisierte optische Triangulation kurz erläutert werden.

Zwei CCD-Zeilen 1 sind in vorgegebener Winkelposition im wesentlichen symmetrisch zum Strahlengang eines als Strahlungsquelle dienenden Lasers 2 angeordnet. Jeder CCD-Zeile 1 ist ein entsprechendes Objektiv 3 zugeordnet. a ist ein Meßpunkt des zu vermessenden Objektes und die Zeilenpixelnummer na stellt die Maßverkörperung der Meßentfernung a, die mittels der CCD-Zeilen 1 gewonnen wird, dar.

Das vom Laser 2 ausgesandte gebündelte Licht wird von der Oberfläche des abzutastenden Objektes reflektiert. Der Remissionsanteil wird innerhalb des Meßbereiches durch die Optik 3 erfaßt und als Meßgröße na von den jeweiligen CCD-Zeilen 1 ausgewertet. Diese auf der jeweiligen CCD-Zeile 1 ermittelte Position wird als Maß für die Bestimmung der Entfernung des abgetasteten Punktes auf der Oberfläche des dreidimensionalen Körpers benutzt.

Da das Empfängerobjektivbildfeld noch eine Restwölbung hat, wird der Fokus nur an 2 Punkten auf der ebenen CCD-Zeile ideal scharf abgebildet. In der Triangulationsrechnung werden die Objektivhauptebenenabstände, die Strahlversätze durch die CCD-Zeilenfenster und die Bandfilter sowie die gemessenen CCD-Zeilennittelwerte und/oder Daten in Form einer scannobjektbezogenen Targeteichung berücksichtigt.

Die Objekttast-Datentripelerrechnung erfolgt unter Berücksichtigung des Meßkopf-/Objektdrehachsen-

abstands, der Objektivdistanz, Winkellage, der Meßentfernung, des Meßkopfschwungwinkels, des Meßkopfkippwinkels und der Überhöhung des Meßstrahls über die Drehtellerebene am Meßkopfport.

5 In einer Ausgestaltung der Erfindung sind die CCD-Zeilen 1 und/oder die Objektive 3 bewegbar. Die Strahlung des Lasers 2 wird mit einer nicht gezeigten, später erläuterten, automatischen Fokussierung dynamisch fokussiert, um bei Objekten mit unterschiedlichem Durchmesser die Meßgenauigkeit zu erhöhen.

10 Durch die mehrfach vorhandenen Empfängerbaugruppen bzw. CCD-Zeile 1 mit den zugehörigen Objektiven 3 wird die Fehlerwahrscheinlichkeit durch das Ausschalten meßprinzipbedingter Fehler verringert und 15 Probleme bei unterschiedlich remittierenden Oberflächen oder Oberflächenteilen des Objektes ausgeschaltet.

Mittels spezieller Schritte werden die anfallenden Daten auf Relevanz geprüft.

20 Im Idealfall wird der Meßwert aus beiden Kanälen gemittelt.

Fällt ein Meßkanal wegen fehlendem Signal aus, wird nur der andere Kanal zur Meßwertgewinnung herangezogen. Das gilt u. a. auch für zu geringe Meßsignalamplituden, für Meßsignale außerhalb des Meßbereiches und für Doppelsignale.

25 Die erkannten Fehlerursachen werden ebenfalls dem Auswerterechner gemeldet.

30 Je nach Objektoberflächeneigenschaften kann die Zeilenempfindlichkeit vorgewählt werden.

Zur Erhöhung des Auflösungsvermögens wird die physikalische Photoelementezahl (Pixelanzahl) der CCD-Zeilen auf elektrischem Wege faktisch verdoppelt.

35 Pro Objektdrehung anfallende Datensätze werden zwischengespeichert. Durch Wechsel der Speicher nach jeder vollen Objektdrehung und wechselweises Weiterenden ist eine nahtfreie, also 36° umfassende Aufnahme der Objektoberfläche auch bei der höchsten Abtastrate möglich.

40 Die CCD-Zeilapixelnummerdaten werden in Objektoberflächenpixeldaten umgerechnet und können durch ihren geordneten Anfall in einem speziellen extrem speicherplatzsparenden Datenformat abgelegt werden.

45 Es liegt im Sinne der Erfindung, die Meßgenauigkeit durch Meßwertakkumulation und Mittelwertbildung zu erhöhen und die Auswirkungen von Rauschen zu minimieren.

50 Die Kinematiken von Scannengerät und Justierzurichtungen sind so gewählt, daß 180°-Schwenks und/oder Ortsaustausch letzterer eine justierungsgünstige Subtraktion der Fehler bei Meßentfernung, Drehachsenquer- und Längsabweichung sowie Strahlneigung und Rechtwinklichkeitsfehler ermöglichen.

55 Verbleibende aber vermessene Restfehler der Scannkinematik und der Führungsbahngeradheiten und -ebenen bzw. Führungsbahnschiefen können als Addition bzw. Subtraktion von kegelstumpfförmigen Korrekturkörpern bei der Objekttastort-Datentripelerrechnung berücksichtigt werden.

60 Für quasidynamische bzw. zeitaufgelöste Messungen durch fortlaufende Wiederholungsmessungen mit außerordentlich schnellem Meßwert- bzw. Datenfluß können auch einzelne Punkte, Ringe, Spiralbahnen oder vertikale Linien als Quasiortsraum-Meßwertfenster für die Analyse des Zeitverhaltens, z. B. für das Eigenschwingverhalten, vorgewählt werden. Die CCD-Zeilen 1 sind in jeweils drei Translations- und Rotationsrich-

tungen justierbar (nicht gezeigt). Die Zeilen können dabei so justiert sein, daß auch mehrere Zeilen annähernd die gleichen CCD-Einzelphotoelementnummern anzeigen, und daß die Signaldynamiken innerhalb einer Zeile bei gleichen äußeren Bedingungen weitgehend gleich sind.

Die Meßgenauigkeit kann weiterhin dadurch erhöht werden, daß eine speziell geformte, kombinierte Loch- und Ringblende bzw. ein entsprechender Blendensatz so vorhanden und ausgestaltet ist, daß sich als Superposition der Beugungerscheinungen die weitgehend glatteste Hülkurve der Lichtfleckstruktur auf dem Objekt ergibt.

Die für den Laser 3 verwendete Optik gestattet die Ausbildung einer Beleuchtungsfläche am Objekt mit einem Durchmesser kleiner gleich 0,2 mm. Die Auflage für die Objektive 3 ist bezogen auf die Anordnung der CCD-Zeilen 1 separat und für entsprechende Winkel gegenüber der Lichtwellenachse in einem Bereich von 5 bis 20° schwenkbar. Anstelle des verwendeten Lasers kann alternativ auch eine Xenon-Hochdrucklampe mit einem entsprechenden Kollimator zur Einstellung der Strahltafel und zur Bildung einer Quasipunktlichtquelle eingesetzt werden.

Der Laser 2, der Kollimator und der Kollimatorantrieb sind als einheitliche optische Fokussiereinheit ausgebildet. Die zur Fokussierung erforderlichen, beweglichen Kollimatorenelemente sind vollständig im Kollimatorantrieb aufgehängt.

Der eigentliche Kollimatorantrieb setzt sich aus der Antriebseinheit und der Kollimatoraufhängung zusammen, welche im wesentlichen aus einer Gegenkraft erzeugenden Federeinheit besteht. Die beweglichen Teile des Kollimatorantriebes und der Kollimatoraufhängung sind in Leichtbauweise, vorzugsweise unter Verwendung von Kunststofflaminateen, ausgeführt. Mittels des speziellen Kollimatorantriebes kann die Einstellung des Fokuspunktes auf dem Objekt durch den Kollimator und mit einer Dynamik bis hinein in den Kiloherzbereich erfolgen.

Die Antriebseinheit des Kollimators ist ein Linearantrieb mit hohem Beschleunigungsvermögen durch geringe Masse bei hohen Einstelgeschwindigkeiten. Der Antrieb selbst sitzt direkt auf der optischen Achse, wodurch eine direkte Kraftübertragung und Minimierung sekundärer Bahnfehler erreicht wird. Der Antrieb ist weiterhin als ein magnetisches Tauchspulensystem ausgebildet, wobei die Tauchspule eine angenähert lineare Kennlinie aufweist. Der vorstehend erwähnte Antrieb wird unter Vorlast betrieben. Dies erlaubt nach erfolgter mechanischer Grundeinstellung der Fokussiereinheit, diese elektrisch fein zu justieren und gegebenenfalls optimale Bereiche des Zusammenwirkens der Vorspannfederkennlinie und der Kennlinie des eigentlichen Antriebes auszuwählen.

Der Kollimatorantrieb wird elektrisch derart angesteuert, daß sich der Ablenkstrom PID-artig aus einem Beschleunigungsstrompuls, dem eigentlichen Auslenkstrom und einem kurzen Abbremsstrompuls, überlagert von einem ständig anliegenden Justiergrundstrom zusammensetzt. Hierdurch kann äußerst schnell und einfach justiert und fokussiert werden.

Die Bestimmung der Strommenge zur Magnetantriebssteuerung erfolgt durch Auswertung des Meßsignals eines optischen Entfernungsmessers und über Look-up-Tabellen und anschließende Berechnung mittels eines Einchip-Mikrorechners. Unter Beachtung des Fokussierpunktverlaufes kann die Stromsignalbereitstel-

lung für den Antrieb adaptiert oder auf Erfahrungswerten aufbauend, quasi fuzzylogisch bereitgestellt werden. Hierdurch ist eine besonders schnelle, hoch dynamische Fokussierung möglich.

Die Fig. 2 dient der Erläuterung der Vorrichtung zum Vermessen dreidimensionaler Objekte und zeigt ein im wesentlichen U-förmiges Grundgestell 4. Den einen Schenkel bildet ein Drehteller 5. Im waagerechten, fußförmigen Teil 4 befindet sich auch der Antrieb für den Drehteller 5. Die Gestaltung der Antriebe als Mikro-Schrittantriebe mit speziellen Hochlauf- und Abbremskurven gewährleistet einen sicheren schwingungsfreien Betrieb.

Der Abstand zwischen Meßkopf- und Objektdrehteller-Drehachse kann dabei motorisch oder durch Umsetzen von Hand je nach gewollter Lage des Entfernungsmessbereiches zur Objektlage schrittweise oder quasikontinuierlich frei vorgewählt werden.

Ein vertikaler, in z-Richtung gebildeter Schenkel 8 des Gestells nimmt die Mittel zum Vertikalantrieb des Abtastkopfes 6, der die Strahlungsquelle (Laser) 2 und die Empfänger (CCD-Zeilen) 1 umfaßt, auf.

Der Abtastkopf 6 verfügt über einen im einzelnen nicht gezeigten Schwenkantrieb.

Die gesamte mechanische Grundkonstruktion ist mit schwingungsdämpfenden Mitteln versehen, die im aufgestellten Zustand noch Stöße kleiner gleich 3g vom Geräteinneren abhalten können.

Der Vertikal- und Schwenkantrieb ist als Spindelantrieb ausgelegt, wodurch eine Positionsgenauigkeit im Bereich von kleiner gleich 15  $\mu\text{m}$  erreicht werden kann. Der Antrieb des Drehtellers 5 besteht aus einem Flachriemenvorgelege und Schrittmotor. Das Auflösungsvermögen am Drehtellerumfang wird durch das gesamte Auflösungsvermögen des axial gekoppelten Drehgebers bestimmt und kann z. B. 8196 Impulse pro Umdrehung oder ganzzahlige Teiler davon betragen. Die unterschiedlichen Möglichkeiten des Verschwenkens sind in der Fig. 2 angedeutet. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, daß der Abtastkopf 6 quasi in der Achse der Strahlungsquelle 2 verdreht wird.

Die Kopfschwenkbareit in der x-y-Ebene beträgt bei einem Ausführungsbeispiel mindestens  $\pm 200$ , die Kippbarkeit in der x-z-Ebene ebenfalls mindestens  $\pm 200$ .

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung können Objekte mit einem Durchmesser über 300 mm abgetastet werden, wobei das Abtastraster im Bereich von 0,05 bis 6,4 mm liegt. Die Auflösung in Meßrichtung liegt im wesentlichen bei 50  $\mu\text{m}$ . Die Wellenlänge der verwendeten Strahlung beträgt 670 nm und die Meßfrequenz 5 kHz.

Das Scannobjekt 7 wird mit nicht gezeigten Spannmitteln auf dem Drehteller 5 befestigt. Mit Hilfe des Drehtellers 5 bzw. des Drehtellerantriebes dreht sich das dreidimensionale Objekt 7 am Abtastkopf 6 in waagerechter Richtung vorbei. Es sei angemerkt, daß vorgetheilthaft erweise zur Funktionsüberwachung der Antriebe berührungslos arbeitende Positionssensoren vorgesehen sind. Der Abtastkopf 6 wird, wie bereits erwähnt, von einem Vertikalantrieb in senkrechter Richtung am Abtastobjekt 7 vorbeigeführt. Mit dem erwähnten Schwenkkipp- bzw. Drehantrieb sind unterschiedliche Winkel lagen des Abtastkopfes 6 hin zum Abtastobjekt 7 einstellbar.

Hierdurch gelingt es, auch zur x-y-Ebene parallele Ebenen erfolgreich abzutasten, bzw. die Auswirkungen von Hinterschneidungen oder Sacklochbohrungen oder ähnliches beim Scannen des Objektes zu vermeiden.

Die Abtastung erfolgt mindestens an einer Winkelstellung des Abtastkopfes 6. Bei sehr unregelmäßigen Objekten wird zweckmäßigerweise eine Mehrfachabtastung bei konstantem z-Fixpunkt in unterschiedlichen Winkelstellungen des Abtastkopfes 6 durchgeführt.

Dadurch sind schnelle grob gerasterte Probescans zum Anmustern und Optimumieren der Objektausrichtung möglich.

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem zugehörenden Verfahren zum berührungslosen Vermessen dreidimensionaler Objekte auf der Basis optischer Triangulation kann unter Anwendung spezieller Kinematiken auch die Konfiguration mehrfach zusammenhängender Oberflächen bestimmt werden. Die kinematischen Parameter sind frei wählbar und können quasi kontinuierlich durchfahren werden. So ist die Drehung des Drehtellers, auf welchem das Objekt befindlich ist, beispielsweise in Schritten von 0 bis 4 Umdrehungen je Sekunde einstellbar. Zusätzlich kann eine Verschiebung des Drehtisches in Meßkopfrichtung vorgenommen werden. Ein Verschwenken und Kippen bzw. Verdrehen des Abtastkopfes ermöglicht die Erfassung verdeckter Flächengebiete. Der Rasterabstand in Vertikal- und in Objektrichtung liegt bei im wesentlichen 0,1 mm.

Alles in allem können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren geometrisch komplizierte und mathematisch schwer beschreibbare Objekte, die über Hinterschneidungen, Sacklöcher und dergleichen verfügen, mit geringem Aufwand räumlich erfaßt werden, wobei die bereitgestellten 3D-Punktdaten von einem nachgeordneten PC oder einer Workstation weiter verarbeitet werden können. Dadurch, daß höchstens ein einziger linearer, nämlich ein Vertikalantrieb verwendet werden braucht und eigentlich zusätzlich in konstruktiv einfacher Weise nur Schwenk-Kipp- bzw. Drehbewegungen eines Abtastkopfes an einem jeweiligen vertikalen Fixpunkt ausgeführt werden, kann eine höhere Genauigkeit bei der Positionierung des Abtastkopfes, bezogen auf einen vorgegebenen Punkt der Oberfläche des zu vermessenden Objektes, erfolgen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das zugehörige Verfahren werden besonders vorteilhaft zur Schuhleistenvermessung, im Formenbau im weitesten Sinne, bei Kunststoffspritz- und Druckerzeugnissen, beispielsweise für Spielzeuge und Designererzeugnisse, auch keramischen Formen sowie bei allen nicht kubistischen bzw. Freiformflächen enthaltene, körperlichen Vorlagen, wie für orthopädische, dentaltechnische und archäologische Zwecke, die eine Fülle die Form charakterisierende Meßortdaten enthalten, angewendet.

Auch werden damit an nicht körperlichen Objekten beliebiger nichträumlicher Koordinatenstrukturen, z. B. Farbkörper oder Raum-Zeit-Temperaturkörper anhand der Digitalisierung ihrer körperlichen Nachgestaltungen Simulationen von Prozessen in Koordinatensystemen mit beliebigen Meßgrößen als Koordinatenachsen möglich.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum berührungslosen Vermessen dreidimensionaler Objekte auf der Basis optischer Triangulation, wobei die von einer Strahlungsquelle ausgesendete, gebündelte Strahlung die Oberfläche des Objektes abtastet und von dieser reflektiert wird und die Remission mittels Strahlungsdetektoren erfaßt wird, die Strahlungsquelle sowie die

Strahlungsdetektoren in einem in z-Richtung linear bewegbaren sowie verschwenkbaren Abtastkopf angeordnet sind, mit folgenden Schritten:

- Bestimmung des Ortes der reflektierten Strahlung auf mindestens eine als Strahlungsdetektor verwendete CCD-Zeile zur Ermittlung des Maßes der Entfernung des abgetasteten Punktes auf der Oberfläche des Objektes;
- Drehung des Objektes im Objektabstand zum umfangsmäßigen, ringweisen, waagerechten, in x-Richtung erfolgenden Abtasten des Objektes, wobei nach jeder Umdrehung ein schrittweises, fortdauferdes Abtasten in z-Richtung des Objektes erfolgt und die derart ring- oder scheibenweise gewonnenen Daten abgespeichert und zur dreidimensionalen Rekonstruktion des Objektes mittels einer Datenverarbeitungseinheit verwendet werden;
- Wiederholung des ringweisen Abtastens bei einem vorgegebenen z-Abtastschritt unter unterschiedlichen Winkelstellungen des Abtastkopfes dann, wenn Auswirkungen von Hinterschneidungen, verdeckter Stellen bzw. x-parallel Ebenen oder Flächen des Objektes erkannt wurden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Drehtisch (5) und dem Abtastkopf (6) Mittel zum Erzeugen einer Relativbewegung in x-Richtung vorgesehen sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Abtastkopf (6) um eine vorgegebene Winkellage an einem wählbaren Fixpunkt in der x-z-Ebene kippbar ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Abtastkopf (6) um eine vorgegebene Winkellage an einem wählbaren Fixpunkt in der x-y-Ebene schwenkbar ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Abtastkopf (6) mehrere Strahlungsdetektoren (1) und Abbildungsoptiken (3) zum doppelten oder mehrfachen Strahlungsempfang und zur Mehrfachtriangulation aufweist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Fixpunkte durch vertikale Bewegung des Abtastkopfes (6) kontinuierlich einstell- bzw. wählbar sind.
7. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Strahlungsquelle (2) eine Laserdiode, LED oder Xenon-Hochdrucklampe ist.
8. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsdetektoren (!) CCD-Zeilen oder andere ortsensitive Detektoren sind.
9. Verfahren zum berührungslosen Vermessen dreidimensionaler Objekte auf der Basis optischer Triangulation, wobei die von einer Strahlungsquelle ausgesendete, gebündelte Strahlung die Oberfläche des Objektes abtastet und von dieser remittiert wird und die Remission mittels Strahlungsdetektoren erfaßt wird und die Strahlungsquelle sowie die Strahlungsdetektoren in einem bewegbaren Abtastkopf angeordnet sind, gekennzeichnet durch
  - eine Bestimmung des Ortes der reflektierten Strahlung auf mindestens eine als Strahlungsdetektor verwendete CCD-Zeile oder andere ortsensitive Detektoren zur Ermittlung

des Maßes der Entfernung des abgetasteten Punktes auf der Oberfläche des Objektes;

- ein Drehung des Objektes im Objektabstand zum umfangsmäßigen, ringweisen, waa gerechten, längs y-Richtung erfolgenden Abtasten des Objektes, w bei nach jeder Umdrehung ein schrittweises, fortlaufendes Abtasten in z-Richtung erfolgt und die derart ringweis gewonnenen Daten abgespeichert und zur dreidimensionalen Rekonstruktion des Objektes mittels einer Datenverarbeitungseinheit verwendet werden,
- eine Wiederholung des ringweisen Abtastens bei einem vorgegebenen z-Abtastschritt unter Unterschiedlichen Winkelstellungen des 15 Abtastkopfes zur Vermeidung der Auswirkungen von Hinterschneidungen, verdeckten Stellen bzw. x-y-Ebene, parallele Ebenen bzw. Flächen des Objektes.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Datenverarbeitungseinheit dreidimensionale Dateien des Objektes derart bereitstellt, daß diese Dateien bzw. Daten über ein Interface von einer Standard-CAD-Workstation weiterverarbeitet werden können. 20

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsquelle mittels Gesamtlichtstrommessung so nachgeregelt wird, daß die Lichtsignaldynamik am Strahlungsdetektor nahezu gleich ist, wodurch das Signal-Rausch-Verhältnis 30 des Strahlungsdetektor-Ausgangssignals konstant gehalten und die Meßgenauigkeit erhöht wird.

12. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal der mindestens einen CCD-Zeile analog oder digital entfaltet und eine Schwerpunktbestimmung zur Meßsignalbewertung durchgeführt wird. 35

13. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß mittels einer steuerbaren Fokussiereinrichtung die Strahltaille bzw. der Fokus der gebündelten Strahlung je nach Meßentfernung unter Nutzung der erhaltenen Meßergebnisse von Umgebungspunkten in Echtzeitbetrieb auf oder in hinreichende Nähe des jeweiligen, momentanen Meßpunktes gelegt wird. 40

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Fokussiereinrichtung aus einem Kollimator und einem zu diesem koaxial sitzenden Linearantrieb mit geringer Masse, hohem Beschleunigungsvermögen und definiertem Dämpfungsverhalten besteht, wobei die schnelle Fokussiereinrichtung so angesteuert wird, daß bei Regelzeiten im ms-Bereich hinreichend gut und achsenparallelversatzfehlerarm fokussiert und justiert werden kann. 45

15. Vorrichtung und Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet durch die Verwendung zur Schuhleistenvermessung, im Formenbau sowie für orthopädische, dentaltechnische und archäologische Zwecke. 50

55

60

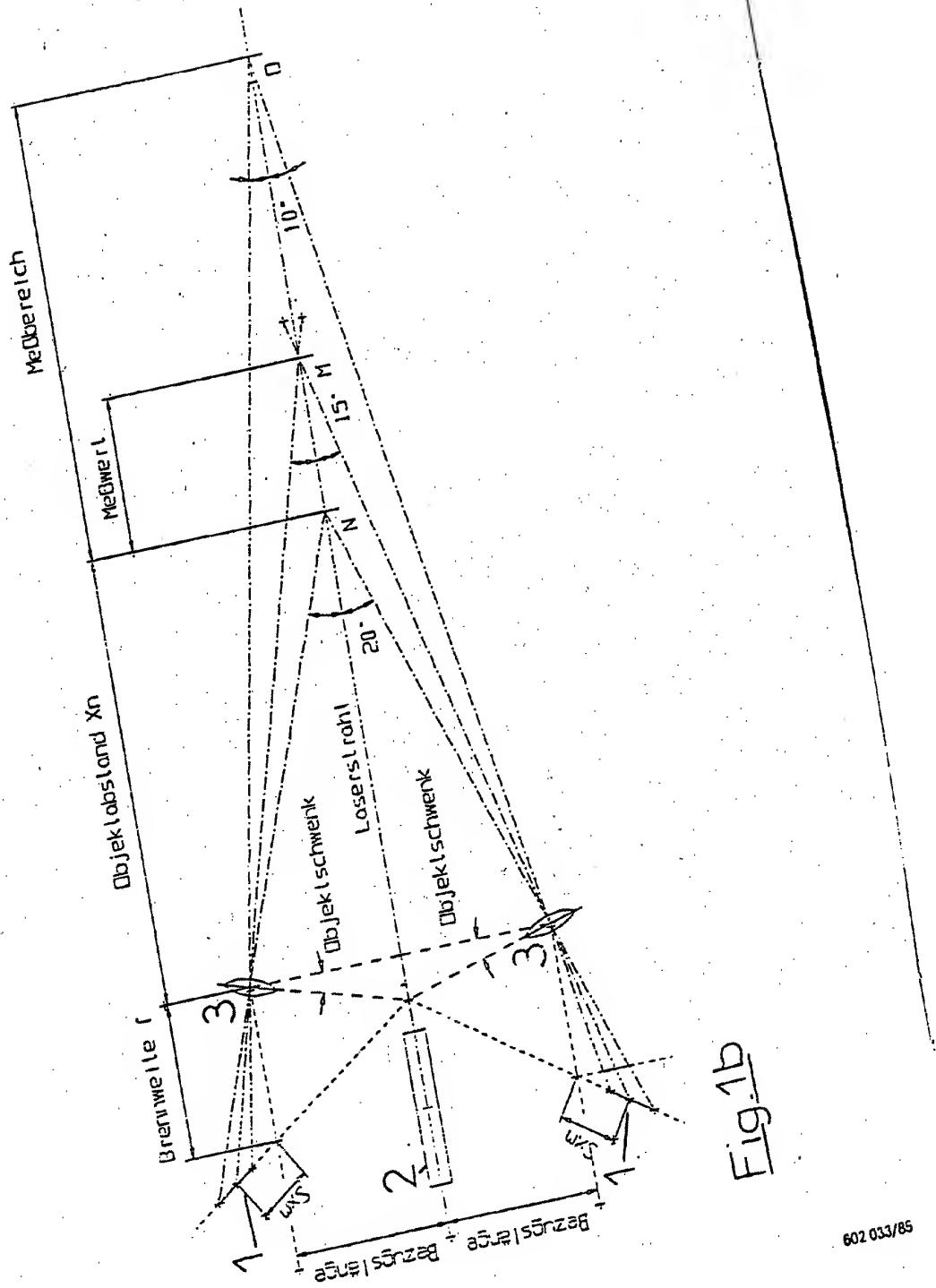
Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leers ite -

ZEICHNUNGEN SEITE 2

DE 195 04 126 A1  
G 01 B 11/02  
14. August 1996

Nummer:  
Int. Cl. 6:  
Offenlegungsstag:



602 033/85

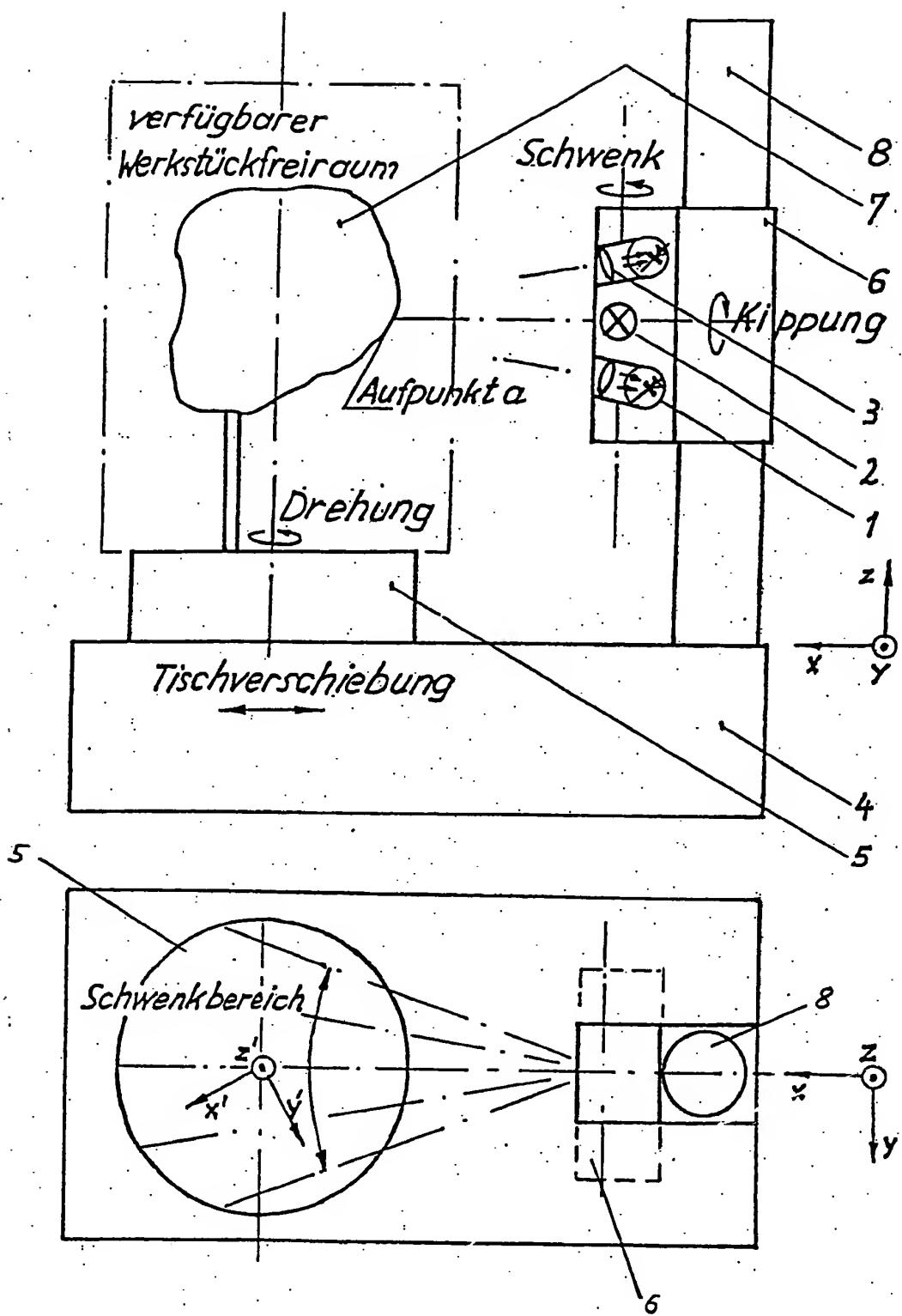


Fig. 2

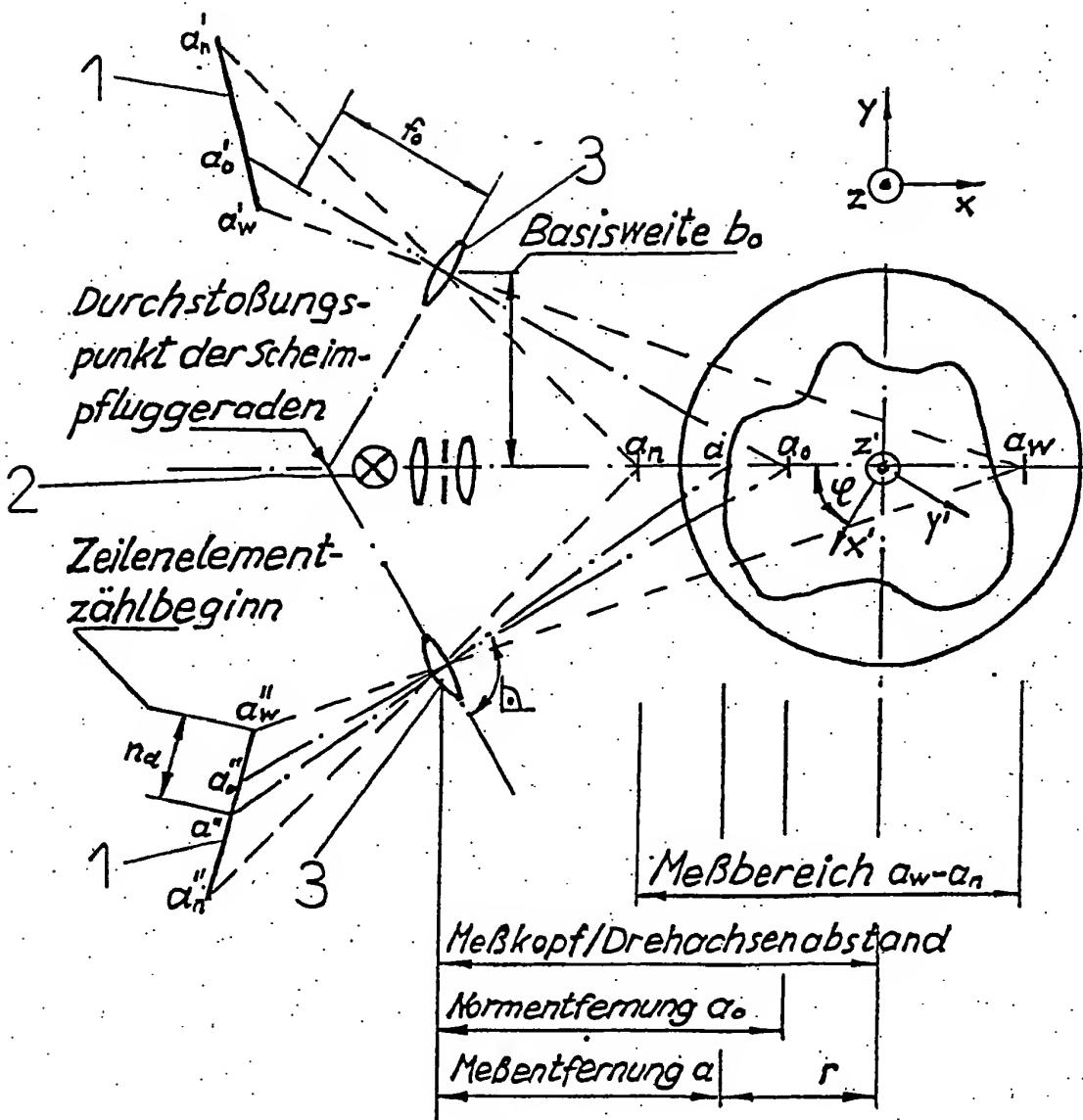


Fig. 1a